

29
Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

Игнатенко Владимир Ильич

И.И.И.
13.12.78

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ПОРШНЕВЫХ
МАШИН НА ОСНОВЕ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ
ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Специальность 05.02.02 -
"Машиноведение и детали машин"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1978

Работа выполнена на кафедре "Автомобильный транспорт" Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент В.Н.ПРОКСПЬЕВ.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор И.С.КАВЬЯРОВ;
кандидат технических наук, старший
научный сотрудник Е.Г.НАХАПЕГИН.

Ведущее предприятие - Филиал Центрального ордена Трудового
Красного Знамени научно-исследовательского
автомобильного и автомобильного
института (НАМИ, г.Москва).

Защита диссертации состоится "17" июл 1979 г.,
в 14 часов, на заседании специализированного совета

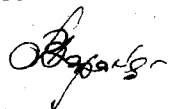
К 053.13.02 по присуждению ученой степени кандидата технических наук в Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола.

Адрес института: 454044, г.Челябинск, пр.им.В.И.Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "13" дек 1978 года.

Ученый секретарь специализированного
совета,

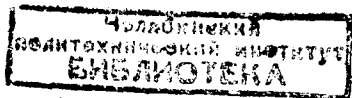
кандидат технических наук, доцент  (ВАРАНИЧИН А.И.)

Актуальность. Прогресс в машиностроении неразрывно связан с выпуском более совершенных машин и механизмов, обладающих высокой надежностью, проблема обеспечения которой, как указано в решениях XXV съезда партии, является одной из важнейших в науке и технике. Надежность машин и механизмов в значительной мере определяется надежностью подшипниковых узлов. Проблема обеспечения высокой надежности подшипниковых узлов наиболее характерна для опор трения, нагруженных переменными по величине и направлению силами. Типичными примерами подобных опор являются подшипники коленчатого вала поршневых машин (двигателей внутреннего сгорания, компрессоров, кривошипных прессов и т.д.).

Проблема обеспечения высокой надежности подшипников коленчатого вала решается на всех этапах их "жизненного цикла": при конструировании, производстве, эксплуатации и ремонте. Требуемая надежность достигается конструктивными, технологическими и организационно-техническими методами. Конструктивные и технологические методы широко освещены в специальной литературе. Организационно-технические методы обеспечения надежности подшипников, базирующиеся главным образом на повышении качества контроля их технического состояния, развиты недостаточно. В частности, являются практически неисследованными методы, основанные на применении контроля технического состояния подшипников без разборки поршневой машины, назначении оптимальных (в смысле заданного критерия) величин контрольного допуска на определяющий параметр подшипников и периодичности контроля. В связи с изложенным исследование перечисленных методов представляется актуальным.

Цель исследования заключается в разработке и апробации организационно-технических методов обеспечения надежности подшипников коленчатого вала поршневых машин на основе использования результатов количественной оценки качества контроля и анализа путей его улучшения на этапах производства и эксплуатации. В ходе исследования ставились и решались следующие основные задачи:

1. Разработать математические модели контроля технического состояния подшипников коленчатого вала поршневых машин.
2. Разработать методики определения оптимальных величин контрольного допуска на определяющий параметр подшипников (на этапах производства и эксплуатации) и периодичности контроля их техничес-



кого состояния на этапе эксплуатации.

3. Разработать способ раздельного измерения зазоров в сопряжениях верхней и нижней головок шатуна без разборки поршневой машины.

Методы исследования. Теоретические исследования выполнены с применением аппарата теории математической статистики, теории случайных процессов и статистических решений, теории точности измерений. Экспериментальные исследования заключались в получении и обработке методами математической статистики информации о техническом состоянии подшипников коленчатого вала поршневых машин, а также в разработке в лабораторных условиях способа раздельного измерения зазоров в сопряжениях верхней и нижней головок шатуна без разборки поршневой машины с последующей проверкой в производственных условиях.

На защиту выносятся методики определения оптимальных величин контрольного допуска и периодичности контроля, а также способ раздельного измерения зазоров в сопряжениях верхней и нижней головок шатуна без разборки поршневой машины.

Научная новизна. Исследован процесс контроля технического состояния подшипников коленчатого вала поршневых машин и предложены математические модели контроля с учетом дисперсии погрешности измерения определяющего параметра и его статистической природы. С использованием математических моделей контроля, а также результатов количественной оценки качества контроля и анализа путей его улучшения созданы и апробированы в производственных условиях методики определения оптимальных величин контрольного допуска на определяющий параметр подшипников и периодичности контроля их технического состояния на основных этапах "жизненного цикла": при производстве и эксплуатации. Разработан способ и создан прибор для раздельного измерения зазоров в верхней и нижней головках шатуна без разборки поршневой машины.

Практическая ценность. Комплексное применение методик определения оптимальных величин контрольного допуска и периодичности контроля, а также способа раздельного измерения зазоров в сопряжениях верхней и нижней головок шатуна без разборки поршневой машины позволяет реализовать организационно-технические методы обеспечения надежности подшипников коленчатого вала поршневых машин на этапах производства и эксплуатации при минимальных затратах. Предлагаемые методики могут быть использованы также применительно к другим механическим системам.

Реализация работы. Результаты диссертационной работы внедрены на предприятиях Южно-Уральского территориального транспортного управления. Годовой экономический эффект от внедрения оптимальных алгоритмов контроля технического состояния подшипников коленчатого вала дизельных двигателей ЯМЗ-236 составил 24,8 тысячи рублей.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на научно-технических конференциях Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола, на Всесоюзном семинаре по геометрическим методам исследования деформаций и напряжений в г. Миассе (1975 г.), на XXXIII научно-исследовательской конференции Московского автомобильно-дорожного института в г. Москве (1975 г.), на IV Всесоюзной школе-семинаре по технической диагностике в г. Миассе (1976 г.), на Всесоюзном научно-техническом совещании по проблемам автоматического контроля и повышения качества продукции в г. Новосибирске (1976 г.), на научно-техническом семинаре по обеспечению надежности и качества систем методами технической диагностики в г. Челябинске (1977 г.), на научно-техническом семинаре по передовым методам технического обслуживания и ремонта подвижного состава в условиях АТП в г. Челябинске (1977 г.), на научно-техническом семинаре по теории, методам и средствам диагностирования автомобилей в г. Гитте (1977 г.), на Всесоюзном семинаре по проектированию систем контроля и диагностирования в г. Ростове-на-Дону (1978 г.), на школе-семинаре по проблемам контроля и эффективности сложных систем в г. Виннице (1978 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и содержит 143 страницы машинописного текста, 36 страниц с 63 рисунками и 11 страниц со списком литературы из 118 наименований. В приложении помещены 2 страницы машинописного текста, 1 страница рисунков и 2 страницы копии акта внедрения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко рассмотрены основные методы обеспечения надежности подшипников коленчатого вала поршневых машин: конструктивные, технологические и организационно-технические. Показано, что организационно-технические методы обеспечения надежности подшипников на основе повышения качества контроля их технического состояния на этапах производства и эксплуатации является малоисследованным,

что свидетельствует об актуальности диссертационной работы. Формулируется цель исследования.

В первой главе дается обзор состояния вопроса и излагаются задачи исследования. При конструировании, производстве, эксплуатации и ремонте подшипников коленчатого вала поршневых машин в комплексе организационно-технических мероприятий по обеспечению надежности всегда выполняется контроль их технического состояния, основанный на сравнении значения определяющего параметра подшипников с некоторыми его эталонными значениями (границами допуска). Анализ известных работ в областях гидродинамической теории смазки и процессов изнашивания показал, что зазор в подшипнике вполне обоснованно считается определяющим параметром, характеризующим критическую толщину слоя смазки, температуру антифрикционного слоя, его усталостную прочность и потери мощности на трение, а в итоге и надежностьные показатели подшипника.

Одной из основных стадий контроля является измерение определяющего параметра. Вследствие статистической природы определяющего параметра и погрешности измерения возможны ошибки в оценке технического состояния подшипников, что приводит к снижению заданного уровня их надежности и дополнительным потерям. Вероятностная мера принятия неправильного решения служит оценкой качества контроля. Впервые задача количественной оценки качества контроля сформулирована Н.А.Бородачевым. Развитие и широкое внедрение современных средств измерений в машиностроении и приборостроении вызвало необходимость создания новых методов количественной оценки качества контроля. Этому посвящены работы В.П.Балашова, Б.Б.Дунаева, И.В.Кузьмина, А.С.Касаткина, М.И.Коченова, Л.В.Мирошникова, А.В.Михайлова, В.М.Михлина, А.Г.Сергеева и других.

Выбор показателей качества контроля определяется в большинстве случаев целевым назначением изделия. За основные показатели качества контроля технического состояния подшипников приняты: вероятности ошибок контроля I и II родов, инструментальная достоверность контроля, вероятность безотказной работы в межконтрольном периоде и средние потери от реализации процедуры принятия решений о техническом состоянии подшипников. Анализ факторов, влияющих на уровень качества контроля, предопределил выбор организационно-технических методов обеспечения надежности подшипников, базирующихся на повышении качества контроля их технического состояния за счет применения более точного способа измерения определяю-

щего параметра, а также назначения оптимальных величин контрольного допуска и периодичности контроля. На основе анализа известных методов контроля технического состояния подшипников коленчатого вала без разборки поршневой машины, методов определения контрольного допуска и периодичности контроля, базирующихся в основном на работах в области надежности и технической диагностики Н.Г.Бруевича, Б.В.Гнеденко, В.И.Сергеева, И.Б.Гердбаха, Х.Б.Кордонского, П.П.Пархоменко, А.В.Мозгалева, Д.Н.Решетова, А.С.Проникова, Н.Н.Смирнова, М.Д.Генкина, Е.Г.Нахапетяна, Г.В.Крамаренко, Е.С.Кузнецова, Р.В.Кугеля и других, сформулированы конкретные задачи данного исследования, решаемые теоретическим и экспериментальным путями.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию и разработке методов обеспечения надежности подшипников коленчатого вала поршневых машин на основе повышения качества контроля их технического состояния. Техническое состояние подшипников на этапе производства принято оценивать двумя видами: "исправны и работоспособны", "неисправны, но работоспособны". С границами производственного допуска, установленного на действительные значения определяющего параметра x , сравнивают измеренное значение y , которое отличается от действительного на некоторую величину u случайной погрешности измерения. Это приводит к ошибкам контроля. На основе анализа процесса определения технического состояния подшипников при известных одномерных плотностях распределения параметра $\varphi(x)$ и погрешности измерения $\rho(u)$, а также характеристиках производственного $[A_H, A_B]$ и контрольного $[D_H, D_B]$ допусков получены общие соотношения, позволяющие оценить вероятности забраковки "исправного" сопряжения (ошибка контроля I рода)

$$\alpha = \int_{A_H}^{A_B} \int_{-\infty}^{D_H-x} \varphi(x) \rho(u) du dx + \int_{A_H}^{A_B} \int_{D_H-x}^{\infty} \varphi(x) \rho(u) du dx \quad (1)$$

и пропуска "неисправного" сопряжения (ошибка контроля II рода)

$$\beta = \int_{-\infty}^{A_H} \int_{D_H-x}^{D_B-x} \varphi(x) \rho(u) du dx + \int_{A_B}^{\infty} \int_{D_H-x}^{D_B-x} \varphi(x) \rho(u) du dx. \quad (2)$$

Полученные соотношения представляют собой математическую модель контроля технического состояния подшипников на этапе производства, используя которую можно решать задачи количественной оценки качества контроля и обеспечения надежности.

Соотношения (1) и (2) устанавливают взаимосвязь между показателями качества контроля, допусками, законами распределения параметра и погрешности измерения в фиксированный момент времени

$t=0$. Однако в процессе эксплуатации закон распределения параметра под действием различных факторов постепенно изменяется. В общем случае определяющий параметр подшипников является монотонной случайной функцией времени $X(t)$, характеризующей процесс изнашивания. Между характеристиками процесса изнашивания и безотказностью - одним из основных показателей качества контроля на этапе эксплуатации - существует тесная взаимосвязь:

$$\int_0^T f(t, x_n) dt = \int_{x_n}^{\infty} \varphi(x, T) dx. \quad (3)$$

Здесь $f(t, x_n)$ - плотность распределения случайных моментов времени t превышения реализациями процесса изнашивания предельного уровня параметра x_n ; $\varphi(x, T)$ - плотность распределения значений параметра x в момент проведения контроля T . Соотношение (3) показывает, что изменяя периодичность контроля можно управлять безотказностью подшипников в межконтрольном периоде. Безотказностью можно также управлять путем введения контрольного уровня параметра x_k , определяющего такое допустимое значение параметра в момент контроля, когда есть основания предполагать, что подшипники проработают с заданной безотказностью до очередного контроля. Контрольный уровень определяет верхнюю границу контрольного допуска на определяющий параметр подшипников. Если в момент контроля значение определяющего параметра выше контрольного уровня, но не достигло предельного, необходимо проведение профилактических операций, предупреждающих отказ подшипников. Такое состояние подшипников считается предотказовым и классифицируется как "неисправное, но работоспособное".

Принята следующая классификация технического состояния подшипников на этапе эксплуатации: "исправны и работоспособны", "неисправны, но работоспособны", "неисправны и неработоспособны". Установлена связь между характеристиками процесса изнашивания, безотказностью, допусками, точностью измерений и периодичностью контроля. Связь определена для двух моделей, наиболее характерных для установившихся процессов эксплуатации подшипников: с "мгновенным" восстановлением отказавших подшипников (модель I) и восстановлением, приуроченным к моменту проведения контроля (мо-

дель II). Рассматриваемые в данной работе подшипники коленчатого вала характеризуются массовостью применения и сравнительно низкой стоимостью. Процесс их эксплуатации, как и всех изделий массового применения, в большинстве случаев является установившимся. Под "мгновенным" восстановлением подшипников принято понимать их ремонт сразу же после отказа. Модели I (рис.1) и II (рис.2) проиллюстрированы с помощью графов состояний эксплуатации. Обозначения, принятые на рис.1 и 2: И - функционирование в исправном состоянии; К - контроль; П - профилактическая замена вкладышей; С - ожидание ремонта; Р - ремонт.

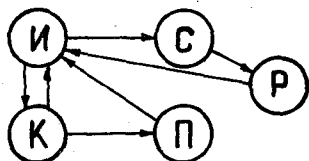


Рис.1

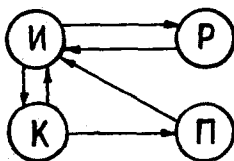


Рис.2

С помощью аппарата теории случайных процессов получены уравнения связи:

для модели I -

$$\left. \begin{aligned} \varphi(x) &= \int_0^{x_n} \varphi_1(x_0) K_1(x, x_0, T) dx_0, \\ \varphi_1(x) &= \varphi(x) [1 - R(x/x_k)] + \omega_0(x) \int_0^x \varphi(x) R(x/x_k) dx; \end{aligned} \right\} (4)$$

для модели II -

$$\left. \begin{aligned} \varphi(x) &= \int_0^{x_n} \varphi_1(x_0) K_1(x, x_0, T) dx_0 + \int_0^{x_n} \int_0^T \omega_p(x, t) \times \\ &\times \left[\int_0^{x_n} \varphi_2(x_0) K_2(x, x_0, t) dx_0 \right] K_r(x, x, T) dt dx, \\ \varphi(x) &= \varphi(x) [1 - R(x/x_k)] + \omega_0(x) \int_0^x \varphi(x) R(x/x_k) dx. \end{aligned} \right\} (5)$$

Здесь $\varphi(x)$ - плотность распределения параметра в момент контроля в моделях I (рис.3) и II (рис.4); $\varphi_1(x)$ - плотность распределения параметра после проведения контроля; $\omega_0(x)$ - плотность распределения параметра подшипников, которые подверглись воздействию профилактических и ремонтных операций в модели I, а в мо-

дели II - только профилактических; $\omega_p(x)$ - плотность распределения параметра подшипников, которые подверглись воздействию ремонтных операций в межконтрольном периоде; $R(x/x_k)$ - интегральная функция плотности распределения погрешности измерения $\rho(x/x_k)$ при данном значении x_k ; $K_1(x, x_0, T)$ и $K_2(x, x_0, t)$ - функции, определяемые процессом изнашивания. При выводе уравнений связи приняты следующие допущения: безотказность подшипников в межконтрольном периоде задана; характеристики процесса изнашивания подшипников, точность измерений определяющего параметра и его предельный уровень известны; процесс эксплуатации подшипников установившийся с постепенными отказами; продолжительность контрольно-измерительных, профилактических и ремонтных операций много меньше периода межконтрольной наработки; восстановленные подшипники по своему техническому состоянию эквивалентны новым.

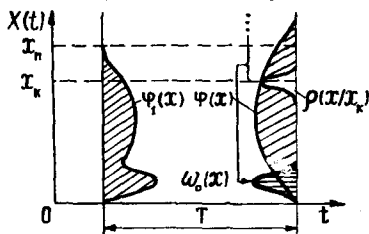


Рис. 3

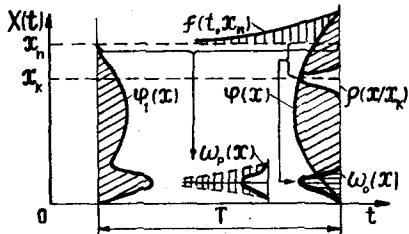


Рис. 4

Уравнения (4) и (5) являются математическими моделями контроля технического состояния подшипников на этапе эксплуатации, используя которые можно решать задачи количественной оценки качества контроля и обеспечения надежности.

С использованием математических моделей контроля выполнен количественный анализ качества контроля технического состояния подшипников на этапах производства и эксплуатации при реальных характеристиках точности изготовления (закон распределения определяющего параметра), процесса изнашивания и точности измерений.

Анализ зависимостей ошибок контроля, рассчитанных по соотношениям (1) и (2), при распределении параметра по нормальному закону, а погрешности измерения - по равновероятному и нормальному от точности измерений, точности изготовления и контрольного допуска показал, что они носят монотонный возрастающий характер, причем ошибка I рода более чувствительна к их изменению. Использование при расчетах равновероятно распределенной погрешности измерения позволяет установить предельные значения ошибок контроля. При за-

данных точности измерений и точности изготовления существует некоторый контрольный допуск, обеспечивающий максимальную инструментальную достоверность. Зависимости обобщенного показателя качества контроля (средних потерь) от точности измерений и контрольного допуска носят экстремальный характер и имеют явный минимум.

Количественный анализ качества контроля на этапе эксплуатации проводился для подшипников, процесс изнашивания которых с достаточной для практических целей точностью аппроксимируется линейной функцией изменения определяющего параметра, а плотность распределения скорости изнашивания – распределениями Вейбулла, полунормальным и экспоненциальным. С помощью уравнений (4) и (5) по предлагаемому моделирующему алгоритму при постоянных предельном уровне x_n и математическом ожидании скорости изнашивания m_b установлена однозначная связь между значениями контрольного уровня x_k и периодичности контроля T (рис.5).

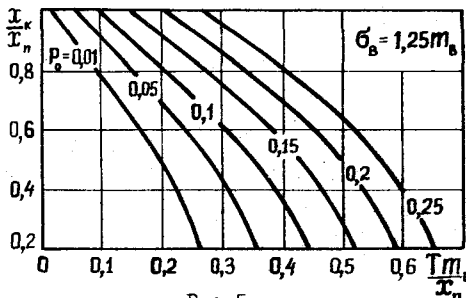
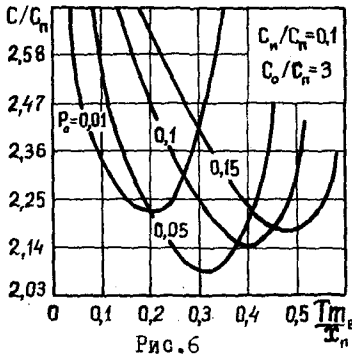


Рис.5

Для обеспечения заданного уровня вероятности отказов P_0 с увеличением периодичности контроля контрольный уровень должен снижаться и наоборот. Вероятность отказа в межконтрольном периоде монотонно возрастает как при совместном, так и при

раздельном увеличении контрольного уровня или периодичности контроля. Закон распределения скорости изнашивания практически не влияет на характер зависимостей. С увеличением погрешности измерения вероятность отказа возрастает на величину разности ошибок контроля. Зависимости обобщенного показателя качества контроля (средних удельных потерь) от точности измерений, контрольного допуска и периодичности контроля носят экстремальный характер и имеют явный минимум. При известной зависимости стоимости конкретных средств измерений от обеспечиваемого ими класса точности можно решать задачу выбора необходимой точности измерений определяющего параметра подшипников. При неизменных характеристиках точности измерений и средних издержках, связанных с проведением измерительных C_m , профилактических C_n и ремонтных C_p операций, существуют зна-

чения контрольного уровня, периодичности контроля и вероятности отказа, обеспечивающие минимум суммарных удельных потерь C (рис. 6)



С учетом целевого назначения сложной системы, элементом которой являются подшипники, а также на основе результатов количественного анализа качества контроля и анализа последствий от неправильного принятия решения (ошибок контроля I и II родов) произведен обоснованный выбор критериев качества контроля на этапах производства и эксплуатации. При контроле технического состояния подшипников, отказ

которых сопряжен с опасностью для жизни людей, за критерий качества на этапе производства принят минимум ошибки II рода ($\min \beta$), а на этапе эксплуатации - максимум безотказности ($\min P_0$). Когда отказ подшипников непосредственно не влияет на безопасность эксплуатации, за критерий качества принимается минимум суммарных средних потерь ($\min C$) от реализации процедуры принятия решений о техническом состоянии подшипников. Исходя из выбранных критериев, решается задача обеспечения надежности подшипников путем повышения качества контроля на основе оптимизации его алгоритмов. Сформулированы прямые и обратные задачи оптимизации алгоритмов контроля технического состояния подшипников колеччатого вала поршневых машин на этапах производства и эксплуатации и предложена их общая классификация, приведенная в таблице.

Таблица

Задачи оптимизации алгоритмов контроля

Номер задачи	Критерий качества	Управляемые переменные	Вид ограничений	Примечание
1	$\min \beta$	D_n, D_B	$d \leq d_{доп}$ $C \leq C_{доп}$	Прямая задача на этапе производства
2	$\min C$	D_n, D_B	$d \leq d_{доп}$ $\beta \leq \beta_{доп}$	Обратная задача на этапе производства
3	$\min P_0$	x_k, T	$C \leq C_{доп}$	Прямая задача на этапе эксплуатации
4	$\min C$	x_k, T	$P_0 \leq P_0_{доп}$	Обратная задача на этапе эксплуатации

На основе теоретического исследования методов обеспечения надежности подшипников на этапах производства и эксплуатации созданы методики определения оптимальных величин контрольного допуска и периодичности контроля.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям технического состояния подшипников. В ней описывается способ раздельного измерения зазоров в верхней и нижней головках шатуна без разборки поршневой машины. При проведении исследований в качестве объекта контроля выбраны шатунные подшипники коленчатого вала дизельного двигателя ЯМЗ-236.

Экспериментальные исследования технического состояния шатунных подшипников двигателя ЯМЗ-236 проводились на Челябинском авторемонтном заводе (АРЗ), так как с позиций, рассматриваемых в диссертационной работе задач современная технология капитального ремонта двигателя ЯМЗ-236 не отличается от технологии производства. Статистическую информацию о техническом состоянии шатунных подшипников получали путем измерения диаметров шеек коленчатого вала и подшипников перед сборкой двигателя. Наиболее вероятная величина зазора (определяющего параметра), возникающего в сопряжении вал-отверстие вычислялась как разность их диаметров.

Для сокращения времени проведения экспериментального исследования технического состояния подшипников на этапе эксплуатации применялся метод разовых обследований, предложенный А.М.Шейниным. Суть метода состоит в увеличении количества объектов исследования, имеющих различную величину наработки в заданном интервале. Статистическую информацию о техническом состоянии шатунных подшипников получали на Челябинском АРЗе в процессе разборки двигателей, поступивших в первый капитальный ремонт из автоэксплуатационных предприятий Южного Урала. Математическая обработка статистической информации заключалась в определении существования зависимости зазора от наработки путем оценки величины коэффициента корреляции, аналитическом описании процесса изнашивания шатунных подшипников, позволяющем учесть случайную динамику их изнашивания, и аппроксимации экспериментальных данных распределениями Джонсона. Использование для аппроксимации распределений Джонсона, как наиболее приемлемых, основано на результатах сравнительного анализа различных статистических моделей, применяемых для аппроксимации экспериментальных данных исследования технического состояния подшипников на этапах производства и эксплуатации.

Предложенный с целью обеспечения надежности шатунных подшипников более точный способ измерения зазоров в верхней и нижней головках шатуна основан на совмещении двух известных способов, разработанных Б.К.Соколовым и В.Н.Бласенко. Повышение точности достигается путем непосредственного измерения перемещения поршня под действием разрежения в надпоршневом пространстве из нижнего положения в верхнее на величину зазоров в сопряжениях КШМ с одновременной регистрацией начала его сдвига и импульсов от соударений в верхней и нижней головках шатуна, которые сигнализируют о выборке зазоров в этих сопряжениях. Так как измерение зазоров производится на неработающей поршневой машине, то предполагается, что помехи от других кинематических пар отсутствуют, а импульсы от соударений в проверяемых сопряжениях регистрируются и разделяются по времени их возникновения при любых значениях зазоров. Величины зазоров S_1 и S_2 в проверяемых сопряжениях определяются интервалами пути перемещения поршня l , заключенными между началом его сдвига 0 и ударными импульсами в верхней 2 и нижней 3 головках шатуна (рис.7).

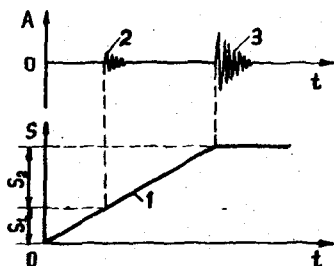


Рис.7

на величину зазоров в сопряжениях, зависимости амплитуды ударных импульсов от величины зазоров в сопряжениях, влияния различных факторов на точность измерений зазоров в сопряжениях.

В четвертой главе описаны результаты экспериментального исследования предлагаемого способа измерения зазоров в верхней и нижней головках шатуна. При попеременном создании в надпоршневом пространстве давления (3 кгс/см^2) и разрежения ($0,34 \text{ кгс/см}^2$) обеспечивается перемещение поршня на величину суммарного зазора в верхней и нижней головках шатуна двигателя ЯМЗ-236. Для четкой регистрации ударных импульсов и разделения по времени моментов их возникновения при любых значениях зазоров в верхней и нижней го-

Основные положения предложенного способа подтверждены результатами экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных условиях с использованием стандартного оборудования и измерительной аппаратуры на двигателе ЯМЗ-236. Выполнены экспериментальные исследования процесса перемещения элементов кривошипно-шатунного механизма

ловках шатуна скорость нарастания разрежения в надпоршневом пространстве должна быть не менее $1,85 \text{ кгс/см}^2\text{с}$. Точность измерений зазоров в основном определяется методической составляющей погрешности, намного превышающей динамическую и инструментальную составляющие, вместе взятые.

В пятой главе излагаются практические рекомендации по использованию методов обеспечения надежности шатунных подшипников коленчатого вала двигателя ЯМЗ-236, внедренные на предприятиях Южно-Уральского территориального транспортного управления. Внедрение в Челябинском ПАТО-2 более точного способа измерения зазоров в сопряжениях верхней и нижней головок шатуна с одновременным установлением оптимальных величин контрольного допуска на зазор в нижней головке шатуна [$x_n^* = 180 \text{ мкм}$] и периодичности контроля [$T_n^* = 30 \text{ тыс. км}$] при вероятности отказа в межконтрольном периоде $P_0 = 0,05$ позволило получить при среднегодовом пробеге автомобиля МАЗ-503 62 тыс. км экономический эффект в размере 112,4 рубля в год на один автомобиль. Экономия в результате комплексного внедрения на Челябинском АРЗе способа раздельного измерения зазоров в сопряжениях верхней и нижней головок шатуна и оптимального контрольного допуска на зазор в нижней головке шатуна [$D_n^* = 80 \text{ мкм}$, $D_g^* = 122 \text{ мкм}$] составила 3,4 рубля на один двигатель. Внедрение оптимальных алгоритмов контроля позволило снизить уровень средних потерь на этапах эксплуатации и капитального ремонта соответственно на 20,8% и 31%.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что качество контроля технического состояния подшипников коленчатого вала поршневых машин на этапах производства и эксплуатации характеризуется: вероятностями появления ошибок контроля I и II родов, инструментальной достоверностью контроля, вероятностью безотказной работы в межконтрольном периоде и средними потерями от реализации процедуры принятия решений о техническом состоянии подшипников.

2. Предложено комплексное решение задачи обеспечения надежности подшипников коленчатого вала на основе внедрения более точного способа измерения их определяющего параметра без разборки поршневой машины, оптимальных (в смысле заданного критерия) величин контрольного допуска на определяющий параметр подшипников и периодичности контроля их технического состояния.

3. Разработаны математические модели контроля технического состояния подшипников с учетом дисперсии погрешности измерения определяющего параметра и его статистической природы.

4. Выполнен количественный анализ качества контроля технического состояния подшипников на этапах производства и эксплуатации. Установлено, что зависимость ошибок контроля и вероятности отказа от управляемых переменных (контрольного допуска и периодичности контроля) носит монотонный характер, а зависимость обобщенного показателя качества контроля (средних потерь) от тех же переменных - экстремальный. Показано, что задача выбора необходимой точности измерений определяющего параметра подшипников на этапах производства и эксплуатации может быть решена только при известных точностных характеристиках конкретных средств измерений.

5. Выбраны и обоснованы с учетом вида, назначения и области применения поршневых машин критерии качества контроля технического состояния подшипников коленчатого вала на этапах производства и эксплуатации. Предложена общая классификация прямых и обратных задач оптимизации алгоритмов контроля технического состояния подшипников по этим критериям и рассмотрены методы их решения.

6. Созданы методики определения оптимальных величин контрольного допуска на определяющий параметр подшипников и периодичности контроля их технического состояния.

7. Проведен сравнительный анализ различных статистических моделей, применяемых для аппроксимации экспериментальных данных, полученных в результате исследования технического состояния подшипников на этапах производства и эксплуатации. На основе использования в качестве статистических моделей распределений Джонсона созданы сравнительно простые и универсальные программы для вычисления оптимальных величин контрольного допуска и периодичности контроля.

8. Разработан способ и создан прибор для отдельного измерения зазоров в верхней и нижней головках шатуна дизельных двигателей ЯМЗ-236, ЯМЗ-238, ЯМЗ-240 без их разборки. Точность измерений зазоров разработанным способом в основном определяется методической составляющей погрешности измерения. Относительная методическая составляющая погрешности измерения зазоров в верхней головке шатуна не превышает 13%, а в нижней - 5%. Случайная составляющая погрешности измерения зазора в верхней головке шатуна не превышает ± 5 мкм с доверительной вероятностью 0,99, а в нижней - ± 10 мкм

с той же доверительной вероятностью.

9. Предлагаемые организационно-технические методы обеспечения надежности подшипников коленчатого вала поршневых машин апробированы в производственных условиях на предприятиях Южно-Уральского территориального транспортного управления. Годовой экономический эффект от внедрения оптимальных алгоритмов контроля технического состояния шатунных подшипников дизельных двигателей ЯМЗ-236 составил 24,8 тыс. рублей.

Основные результаты работы опубликованы в следующих изданиях:

1. Игнатенко В.И. К вопросу измерения зазоров в кривошипно-шатунном механизме ДВС. - В сб. № 144 "Техническая эксплуатация, надежность и совершенствование автомобилей". Челябинск, ЧПИ, 1974.

2. Никитин Г.А., Маляр Н.С., Игнатенко В.И. Выбор допусков для контроля параметров автомобиля. - Там же.

3. Игнатенко В.И., Боков А.С. Об измерении быстроизменяющихся перемещений. - В сб. № 170 "Вычислительная техника". Челябинск, ЧПИ, 1975.

4. Игнатенко В.И. Устройство для контроля зазоров в шатунных подшипниках автомобильных двигателей. - В сб. № 161 "Автомобили, тракторы и двигатели". Челябинск, ЧПИ, 1975.

5. Ваганов В.И., Игнатенко В.И. Измерение параметров ударного импульса в динамических системах. - В сб.: Тезисы докладов Всесоюзного семинара "Геометрические методы исследования деформаций и напряжений". Часть II. Челябинск, ЧПИ, 1975.

6. Игнатенко В.И. О закономерностях изменения зазоров в подшипниках коленчатого вала. - В сб. № 179 "Техническая эксплуатация, надежность и совершенствование автомобилей". Челябинск, ЧПИ, 1976.

7. Сибриков А.П., Игнатенко В.И., Андреев Г.Е. Применение распределений Джонсона и Пирсона в задачах технической эксплуатации автомобилей. - Там же.

8. Игнатенко В.И., Никитин Г.А. Об одной стратегии диагностического обслуживания при циклическом контроле. - В сб.: Труды IУ Всесоюзной школы-семинара по технической диагностике. Челябинск, ЧПИ, 1976.

9. Игнатенко В.И., Никитин Г.А. Выбор упреждающих допусков для автоматизированного контроля. - В сб.: Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания "Проблемы автоматического

контроля и управления в технологии производства аппаратуры и повышение качества продукции". М., МИЭМ, 1977.

10. Игнатенко В.И., Убогов В.А., Никитин Г.А. Оптимизация профилактического обслуживания при допусковом контроле. - В сб. Вопросы технической диагностики. Ростов-на-Дону, РИСИ, 1978.

11. Андреев Г.Е., Игнатенко В.И., Никитин Г.А. О выборе допусков на контролируемые параметры автомобиля. - В сб. № 212 "Техническая эксплуатация, надежность и совершенствование автомобилей". Челябинск, ЧПИ, 1978.

12. Игнатенко В.И., Убогов В.А. К вопросу определения упреждающих допусков при периодическом контроле параметров автомобиля. - Там же.